

# Sistem Pengendalian Kecepatan Motor Pendorong Robot *Hovercraft Line Follower* Menggunakan Kontroler PID Berbasis Mikrokontroler ATmega 8535

Adeck Aprilyan Kurniahadi, Pembimbing 1: Purwanto, Pembimbing 2: Erni Yudaningtyas.

**Abstrak—** Konstruksi *hovercraft* sangat dibutuhkan dalam menangani bencana yang memiliki jalur berlumpur dan berawa. Namun di Indonesia pengembangan kendaraan yang memiliki kelebihan jelajah ini masih sangat minim. Dalam skripsi ini *hovercraft* diaplikasikan dalam bentuk robot otomatis *line follower*. *Hovercraft line follower* adalah robot yang mampu bergerak mandiri dengan mengikuti garis sebagai *setpoint*. Pengendalian dirancang agar posisi sensor robot dapat tetap mengikuti garis dengan kecepatan motor DC *brushless* pendorong yang dikendalikan. Hasil pengujian dengan metode kedua Ziegler-Nichols didapatkan  $K_p=12$ ,  $K_i=6.897$ , dan  $K_d=5.22$ . Robot *hovercraft line follower* mampu mengikuti garis hitam sepanjang 1 meter dengan lebar 4.8 cm dengan *error* pergeseran sensor sebesar 0.5-3 cm tanpa terlepas dari garis.

**Kata Kunci—** *Hovercraft line follower*, pengendalian kecepatan, PID, posisi robot.

## I. PENDAHULUAN

Dunia robot memiliki perkembangan yang sangat pesat hingga saat ini. Pemanfaatan fungsinya tidak hanya untuk pekerjaan yang berat, berbahaya, penjelajah luar angkasa, dan pencari tambang. Sampai dengan tugas penyelamatan dari bencana, bidang hiburan, dan sebagai alat bantu rumah tangga. Perkembangan robot sebagai alat penyelamat semakin dituntut saat ini karena seringnya terjadi bencana alam dan lambannya proses evakuasi korban. Pada umumnya robot penyelamat hanya mampu beroperasi pada medan udara, air, dan darat yang datar maupun bergelombang. Buruknya cuaca dapat mempengaruhi kinerja robot medan udara dengan adanya angin yang tidak menentu. Gelombang besar dapat mempengaruhi robot air. Tanah berawa atau berlumpur dapat menurunkan kinerja robot darat. Hal ini mengakibatkan para peneliti robot dituntut untuk mengembangkan konstruksi robot yang mampu memperbaiki kinerja robot penyelamat.

*Hovercraft* merupakan jenis kendaraan yang memanfaatkan bantalan udara sebagai landasan. Dengan penggerak yang dapat menghasilkan gaya dorong dan gaya angkat. *Hovercraft* mampu bergerak di atas permukaan berair, berlumpur maupun bidang datar. Keunggulan lain konstruksi ini adalah memiliki gesekan yang kecil, tidak membutuhkan landasan lurus, dan gaya dorong yang rendah. Salah satu aplikasinya adalah sebagai kendaraan penjelajah militer[1].

Dalam pengembangan konstruksi *hovercraft* sebagai robot penyelamat otomatis, maka akan dibuat robot *hovercraft* yang ditanamkan sensor jelajah garis yang sering disebut *line follower*. *Line follower*

merupakan robot yang dapat bergerak otomatis sesuai program dalam mikrokontroler ATmega8535 dengan memanfaatkan sensor *photo reflective* sebagai pengindera garis hitam sebagai jalur laju. Posisi sensor mewakili nilai *setpoint* dengan nilai *error* yang semakin besar pada sensor yang memiliki jarak yang jauh dari jalur garis hitam.

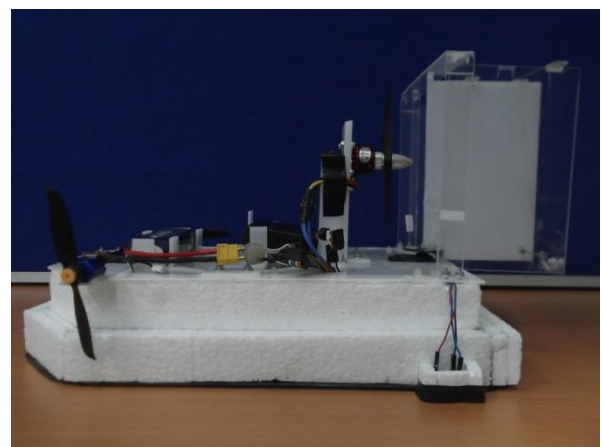
Kontroler Proporsional Integral Derferensial (PID) adalah subsistem yang ditambahkan untuk mengontrol perilaku dari sistem. Dengan mengurangi sinyal kesalahan yang terjadi saat sistem bekerja. Dan mampu memberikan keluaran sinyal kontrol yang memiliki respon cepat, *error steady state* kecil, dan *overshoot* kecil. Dalam hal ini kesalahan diartikan bahwa sensor posisi garis menjauhi jalur garis hitam. Semakin kecil kesalahan yang terjadi, maka semakin baik kinerja sistem kontrol yang diterapkan. Kontroler ini memiliki nilai parameter proporsional sebagai nilai pengali *error* untuk nilai koreksi. Nilai parameter integral sebagai perbaikan kesalahan keadaan mantap mencapai nol. Dan nilai parameter derferensial sebagai perbaikan respon transien dan meredam osilasi[2].

## II. HOVERCRAFT LINE FOLLOWER

### A. *Hovercraft*

Kapal bantalan udara adalah suatu kendaraan yang berjalan di atas bantalan udara. Yang ditimbulkan dengan meniupkan udara ke ruang *plenum chamber* dengan sekat lentur (*skirt*). Udara yang terperangkap sekat mengakibatkan tekanan udara *plenum chamber* lebih tinggi dari tekanan udara luar sehingga timbul gaya angkat. Komponen utama penyusun *hovercraft* terdiri dari lambung kapal, sekat penakan udara, dan sumber tenaga untuk menghasilkan gaya angkat dan gaya dorong[3].

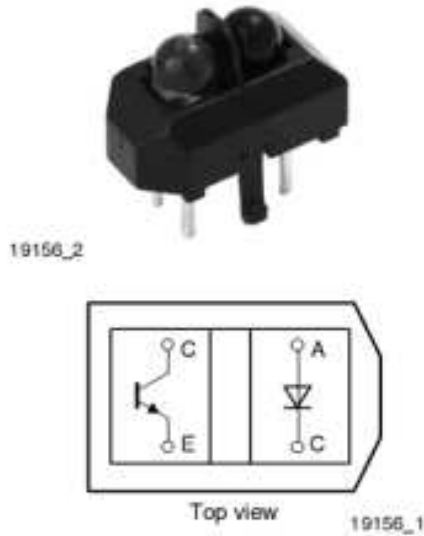
Penelitian ini menggunakan robot berbentuk *hovercraft* dengan dimensi panjang = 45 cm, lebar = 28 cm, dan tinggi = 24 cm yang diperlihatkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Bentuk Robot *Hovercraft Line Follower*

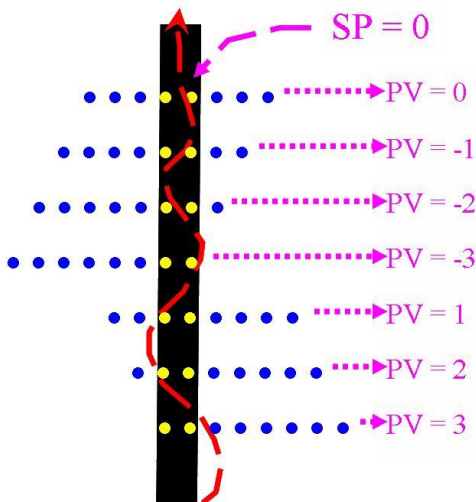
## B. Sensor Cahaya

Sensor fototransistor infra merah digunakan sebagai pembaca jalur hitam dengan panjang gelombang yang dipancarkan sebesar 950 nm. Hasil pembacaan akan dikonversikan dalam bentuk sinyal listrik. Besar sinyal listrik bergantung pada jumlah cahaya yang mengenainya dalam rentang 750 nm – 1500 nm. Semakin kuat cahaya maka semakin besar arus balik dalam satuan miliampere. Sensor yang digunakan memiliki tipe TCRT5000 yang yang diperlihatkan dalam Gambar 2[4].



Gambar 2. Sensor TCRT5000

Sensor ini akan difungsikan sebagai pembacaan jalur garis hitam dengan nilai *setpoint* (SP) dan nilai *Present Value* (PV) atau bobot *error* yang diperlihatkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Pembacaan Garis Hitam Oleh Sensor

## C. Motor DC Brushless

*Brushless motor* adalah motor elektrik yang dicatu dengan arus/ tegangan *Direct Current* (DC) melalui inverter terintegrasi. Yang mengkasikan sinyal listrik *Alternating Current* (AC) ke driver motor dan

mempunyai system komutasi elektrik, dibandingkan dengan komutator mekanik dengan sikat. Hubungan antara arus dan torsi serta frekuensi dan kecepatan adalah linier. Persamaan torsi adalah [5]:

$$M = K_T \times I_{line} \dots\dots\dots (1)$$

dengan:  $I_{line}$  = Arus tiap jala (A)

$M$  = torsi (N.m)

$K_T$  = konstanta torsi motor DC *brushless* (0.00083)

Persamaan untuk kecepatan putaran per menitnya:

$$RPM = K_v \times V \dots\dots\dots (2)$$

dengan: RPM = kecepatan putaran per menit

$K_v$  = konstanta RPM/ volt

$V$  = tegangan masukan

Jika dikonversi dalam kecepatan anguler maka:

$$\omega = \left(\frac{RPM}{60}\right) \times 2\pi \dots\dots\dots (3)$$

dengan:  $\omega$  = kecepatan anguler (rad/s)

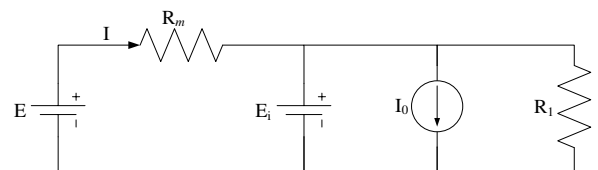
$\pi$  = 3.14

Motor DC *brushless* yang digunakan adalah motor DC *brushless* C2822-1400kV yang yang diperlihatkan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Motor DC *Brushless* C2822-1400kV

Dengan rangkaian ekivalen yang diperlihatkan dalam Gambar 5.



Gambar 5. Rangkaian Ekivalen DC Motor

Hubungan yang terjadi sebagai berikut:

$$E_i = E - IR_m \dots\dots\dots (4)$$

dengan:  $E_i$  = *back-EMF* (V)

$E$  = tegangan baterai (V)

$I$  = arus baterai (A)

$R_m$  = resistansi *winding* ( $\Omega$ )

Maka kecepatan putaran motor adalah:

$$K_v = \frac{N}{E_i} \dots\dots\dots (5)$$

dengan:  $N$  = kecepatan putaran motor (RPM)

Untuk nilai  $R_l$  dari persamaan:

$$R_l = \frac{E - I(R_m + R_{ESC})}{I - I_0} \dots\dots\dots (6)$$

dengan:  $R_l$  = rugi arus Eddy ( $\Omega$ )

Untuk jenis lilitan motor DC *brushless* yaitu  $Y$  dan  $\Delta$  yang ditunjukkan dalam persamaan:

$$M_Y = \sqrt{M_\Delta} \dots \dots \dots (7)$$

dengan kecepatan angular:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{3}} \omega_\Delta \dots \dots \dots (8)$$

#### D. Sistem Arah Gaya Dorong Robot

Dalam sistem ini digunakan motor servo dan motor DC. Motor servo adalah motor yang dapat menginformasikan kembali posisi motor ke rangkaian kontrol dalam motor servo. Sudut servo diatur melalui lebar pulsa yang diberikan. Dalam penelitian ini digunakan motor servo Toward Pro MG996R dengan torsi 9.4 kg/ cm dalam tegangan 4.8 volt dirangkai dengan mekanik sirip untuk mengarahkan hembusan angin motor DC *brushless* pendorong. Motor servo yang diperlihatkan dalam Gambar 6.



Gambar 6. Motor Servo Toward Pro MG996R

Sedangkan motor DC digunakan untuk memberikan tolakan bagian depan robot saat menikung tajam. Digunakan tiap sisi depan kanan dan kiri 1 buah motor DC.

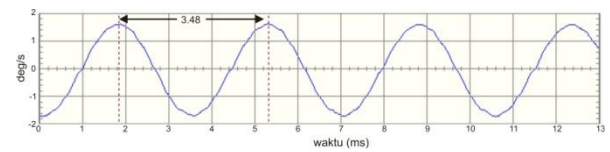
#### E. Mikrokontroler ATmega8535

Mikrokontroler ATmega8535 merupakan salah satu mikrokontroler 8 bit buatan Atmel berbasis RISC (*Reduced Instruction Set Computer*). Memiliki kecepatan maksimal 16 MHz, memori flash 8 kB, kapasitas SRAM 512 byte, 32 buah I/O yang memadai untuk berinteraksi dengan LCD dan keypad[6].

#### F. Penentuan Nilai Penguatan PID

Prosedur penentuan nilai penguatan PID dilakukan dengan metode kedua Ziegler-Nichols. Langkah pertama adalah dengan menentukan respon system yang osilasi setelah diberi kenaikan nilai  $K_{cr} = 20$ .

Respon sistem yang didapatkan terlihat dalam Gambar 7.



Gambar 7. Respon Sistem  $K_{cr} = 20$

Berdasarkan Gambar 7 didapatkan nilai  $P_{cr}$  sebesar 3.48. Nilai parameter kontroler PID ditentukan berdasarkan table aturan dasar Ziegler-Nichols dengan *critical gain*  $K_{cr}$  dan *critical period*  $P_{cr}$  yang ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Aturan Dasar Ziegler-Nichols Berdasarkan *Critical Gain*  $K_{cr}$  dan *Critical Period*  $P_{cr}$

Tipe Kontroler	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$0.5 K_{cr}$	$\infty$	0
PI	$0.45 K_{cr}$	$\frac{1}{1.2} P_{cr}$	0
PID	$0.6 K_{cr}$	$0.5 P_{cr}$	$0.125 P_{cr}$

maka nilai parameter PID yang diperoleh adalah:

$$K_p = 0.6 \times 20 = 12 \dots \dots \dots (9)$$

$$T_i = 0.5 \times 3.48 = 1.74 \dots \dots \dots (10)$$

$$T_d = 0.125 \times 3.48 = 0.435 \dots \dots \dots (11)$$

dengan demikian dapat ditentukan nilai  $K_i$  dan  $K_d$  adalah:

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{12}{1.74} = 6.897 \dots \dots \dots (12)$$

$$K_d = K_p \times T_d = 12 \times 0.435 = 5.22 \dots \dots \dots (13)$$

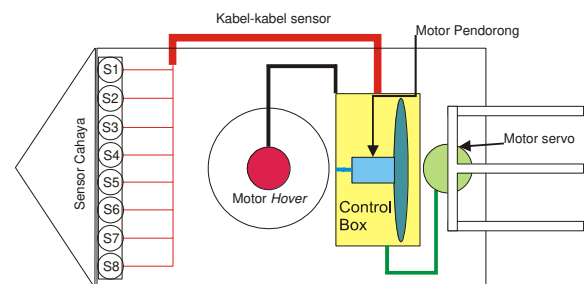
Penentuan nilai penguatan dari metode kedua Ziegler-Nichols diperoleh  $K_p = 12$ ,  $K_i = 6.897$ , dan  $K_d = 5.22$  yang akan digunakan untuk perhitungan nilai PID pada sistem.

### III. PERANCANGAN ALAT

Perancangan ini meliputi pembuatan perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras meliputi perancangan robot *hovercraft line follower* dan perancangan rangkaian elektrik. Perancangan perangkat lunak meliputi pembuatan program pada *software CodeVision AVR*.

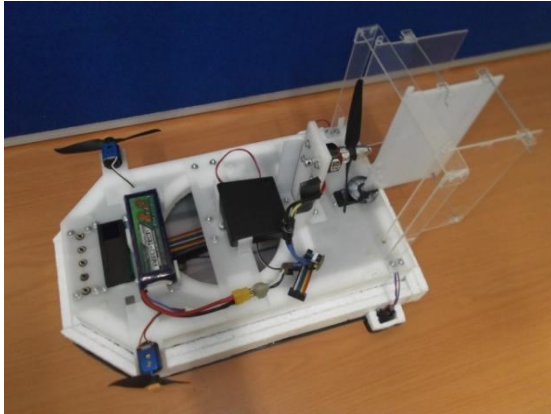
#### A. Perencanaan Mekanik

Rencana konstruksi mekanik robot *hovercraft line follower* dapat dilihat dalam Gambar 8.



Gambar 8. Sistem Mekanik Tampak Atas

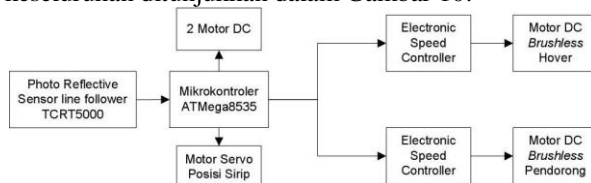
Realisasi robot *hovercraft line follower* dapat dilihat dalam Gambar 9.



Gambar 9. Robot *Hovercraft Line Follower*

### B. Rangkaian Elektrik

Sistem elektrik dalam penelitian ini terdiri dari rangkaian sensor *photo reflective*, mikrokontroler ATmega8535, motor DC, motor servo, dan motor DC *brushless* serta *electronic speed controller* (ESC) yang memiliki fungsi sebagai inverter DC. secara keseluruhan ditunjukkan dalam Gambar 10.



Gambar 10. Sistem Keseluruhan

Pembacaan sensor antara hitam yang mewakili logika 0 dan putih yang mewakili logika 1 akan mengirimkan tegangan ke mikrokontroler. Setiap sensor masing-masing memiliki nilai *error*. Nilai *error* semakin ke kiri atau ke kanan akan semakin besar. Nilai *error* inilah yang memberi logika pada servo dan motor DC. Serta sebagai nilai masukan kontrol PID untuk mengatur kecepatan motor pendorong.

### C. Perancangan Perangkat Lunak

Pada penelitian ini pemrograman keseluruhan system menggunakan bahasa pemrograman C++ dengan *software* CodeVision AVR.

## IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

Pengujian ini meliputi baterai, regulator dan ESC, sensor *photo reflective*, *revolutions per minute* (RPM) dan *thrust* motor DC *brushless hover*, *duty cycle* motor servo, massa robot, dan RPM motor DC *brushless* pendorong dengan tujuan memperoleh karakteristik dari tiap alat. Setelah didapatkan karakteristiknya, kemudian dapat dilakukan penyesuaian pada sistem.

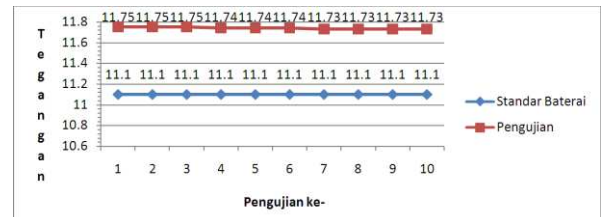
### A. Pengujian Baterai

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui keluaran tegangan catu dari baterai *Li-po* 11.1 V 2200 mA. hasil pengujian dapat dilihat dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Baterai

Pengujian										Rata-rata
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
11.75	11.75	11.75	11.74	11.74	11.74	11.73	11.73	11.73	11.73	11.739

Grafik perbandingan tegangan pengujian dan tegangan standar baterai dapat dilihat dalam Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Perbandingan Tegangan pengujian dan Tegangan Standar Baterai

*Error* rata-rata yang terjadi sebesar 5.76 %, namun tegangan tersebut mampu memberikan catu lebih lama dalam pengujian.

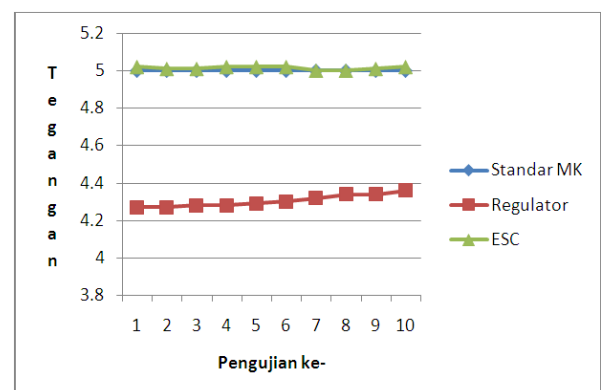
### B. Pengujian Regulator dan ESC

Pengujian ini bertujuan membandingkan tegangan keluaran regulator dan ESC. Hasil pengujian dapat dilihat dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Regulator dan ESC

Pengujian										Rata-rata
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
4.27	4.27	4.28	4.28	4.29	4.3	4.32	4.34	4.34	4.36	4.305
5.02	5.01	5.01	5.02	5.02	5.02	5	5	5.01	5.02	5.013

Grafik pengujian tegangan regulator dan ESC dapat dilihat dalam Gambar 12.



Gambar 12. Grafik Pengujian Tegangan Regulator dan ESC

*Error* yang terjadi sebesar 13.9 % untuk regulator dan 0.26 % untuk ESC, sehingga dipilih catu tegangan dari ESC.



### C. Pengujian Sensor *Photo Reflective*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besar tegangan pembacaan untuk garis putih dan hitam. Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian tegangan rata-rata pembacaan sensor.

Tabel 4. Hasil Nilai Tegangan pada Logika Tiap Sensor

Sensor	Logika	
	1 (Putih)	0 (Hitam)
S0	0.201	3.77
S1	0.146	3.91
S2	0.136	4.488
S3	0.158	4.464
S4	0.152	4.422
S5	0.495	4.574
S6	0.585	4.606
S7	0.227	4.334

Hasil pengujian menunjukkan bahwa setiap sensor mampu mendeteksi perbedaan warna garis putih dan hitam.

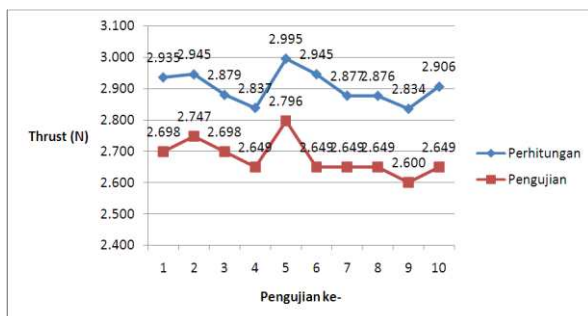
### D. Pengujian RPM dan *Thrust* Motor DC *Brushless Hover*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui RPM dan *thrust* robot saat *hover*. Hasil pengujian dapat dilihat dalam Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian RPM dan *Thrust* Motor DC *Brushless Hover*

No.	RPM	massa (kg)	$\omega$ (rad/s)	Thrust(N) Perhitungan	Thrust (N) Pengujian
1	12068	0.275	1264.284	2.935	2.698
2	12088	0.28	1266.379	2.945	2.747
3	11952	0.275	1252.131	2.879	2.698
4	11865	0.27	1243.017	2.837	2.649
5	12191	0.285	1277.170	2.995	2.796
6	12089	0.27	1266.484	2.945	2.649
7	11947	0.27	1251.608	2.877	2.649
8	11946	0.27	1251.503	2.876	2.649
9	11859	0.265	1242.388	2.834	2.600
10	12007	0.27	1257.893	2.906	2.649

Hasil pengujian RPM dan *thrust* motor DC *brushless hover* dapat dilihat dalam Gambar 13.



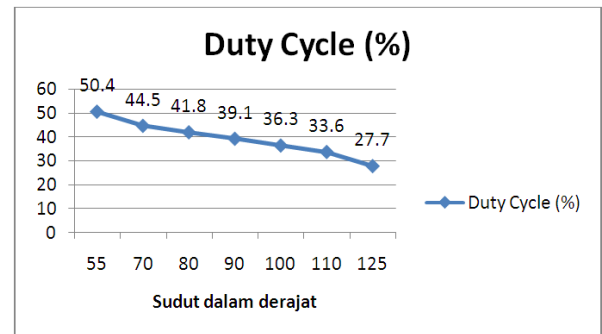
Gambar 13. Grafik Pengujian RPM dan *Thrust* Motor DC *Brushless Hover*

Didapatkan *error thrust* sebesar 7.751 %.

### E. Pengujian *Duty Cycle* Motor Servo

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui *duty cycle* dari tiap-tiap sudut yang digunakan untuk mengarahkan sirip oleh motor servo.

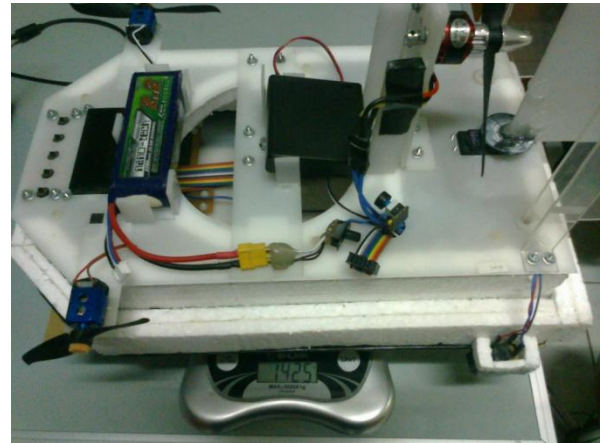
Grafik pengujian dapat dilihat dalam Gambar 14.



Gambar 14. Grafik Pengujian *Duty Cycle* Motor Servo

### F. Pengujian Massa *Hovercraft Line Follower*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui massa robot *hovercraft line follower* saat kondisi *OFF* dan *ON*. Hasil pengujian massa robot *hovercraft line follower* saat *OFF* dapat dilihat dalam Gambar 15.



Gambar 15. Hasil Pengujian Massa Robot *Hovercraft Line Follower* saat *OFF*

Hasil pengujian massa robot *hovercraft line follower* saat *ON* ditunjukkan dalam Gambar 16.



Gambar 16. Hasil Pengujian Massa Robot *Hovercraft Line Follower* saat *ON*

Pengujian saat kondisi *ON* mengalami selisih gaya sesaat sebesar 0.343 N dikarenakan proses gaya aksi reaksi dari gaya angkat robot yang kemudian

menunjukkan angka 1.425 kg sesuai dengan massa kondisi *OFF*.

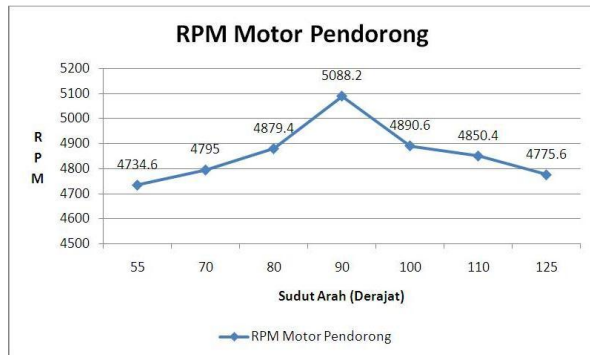
### G. Pengujian RPM Motor DC Brushless Pendorong

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kesesuaian program dengan RPM kondisi sebenarnya. Hasil pengujian RPM dapat dilihat dalam Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian RPM Motor DC Brushless Pendorong

Arah	Sudut (derajat)	Pengujian (RPM)					Rata-rata (RPM)
		1	2	3	4	5	
kasudut3	55	4755	4769	4713	4738	4698	4734.6
kasudut2	70	4824	4801	4798	4787	4765	4795
kasudut1	80	4895	4853	4877	4905	4867	4879.4
lurus	90	5180	5093	4989	5134	5045	5088.2
kisudut1	100	4921	4905	4893	4855	4879	4890.6
kisudut2	110	4883	4853	4871	4848	4797	4850.4
kisudut3	125	4780	4797	4751	4762	4788	4775.6

Grafik hasil pengujian RPM dapat dilihat dalam Gambar 17.



Gambar 17. Grafik Hasil Pengujian RPM Motor DC Brushless Pendorong

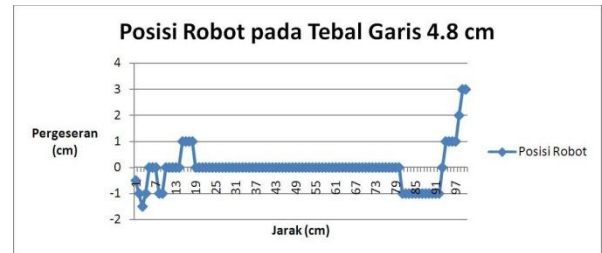
### H. Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian ini bertujuan untuk melihat respon posisi robot secara keseluruhan saat mengikuti garis dengan tebal 4.8 cm sepanjang 1 meter. Hasil pengujian dapat dilihat dalam Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengujian Sistem Keseluruhan

Jarak (cm)	Error (cm)	Jarak (cm)	Error (cm)	Jarak (cm)	Error (cm)	Jarak (cm)	Error (cm)
1	-0.5	26	0	51	0	76	0
2	-1	27	0	52	0	77	0
3	-1.5	28	0	53	0	78	0
4	-1	29	0	54	0	79	0
5	0	30	0	55	0	80	0
6	0	31	0	56	0	81	-1
7	0	32	0	57	0	82	-1
8	-1	33	0	58	0	83	-1
9	-1	34	0	59	0	84	-1
10	0	35	0	60	0	85	-1
11	0	36	0	61	0	86	-1
12	0	37	0	62	0	87	-1
13	0	38	0	63	0	88	-1
14	0	39	0	64	0	89	-1
15	1	40	0	65	0	90	-1
16	1	41	0	66	0	91	-1
17	1	42	0	67	0	92	-1
18	1	43	0	68	0	93	0
19	0	44	0	69	0	94	1
20	0	45	0	70	0	95	1
21	0	46	0	71	0	96	1
22	0	47	0	72	0	97	1
23	0	48	0	73	0	98	2
24	0	49	0	74	0	99	3
25	0	50	0	75	0	100	3

Grafik hasil pengujian sistem keseluruhan dapat dilihat dalam Gambar 18.



Gambar 18. Grafik Hasil Pengujian Sistem Keseluruhan

Dari grafik diperoleh nilai *error max* adalah 21.43 % atau 3 cm dari titik tengah sensor lurus dan nilai *error min* adalah 3.57 % atau 0.5 cm dari titik tengah sensor lurus. Penyebab *error* yang tinggi adalah mekanik robot yang kurang setimbang dan lebih berat bagian kiri.

### V. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada penelitian ini telah dirancang dan dibuat robot *hovercraft line follower* menggunakan kontrol PID dengan dimensi panjang 45 cm, lebar 28 cm, dan tinggi 24 cm.

Berdasarkan hasil pengujian parameter PID dengan nilai  $K_p = 12$ ,  $K_i = 6.897$ , dan  $K_d = 5.22$  dapat diaplikasikan pada sistem. Sistem robot *hovercraft line follower* memiliki respon yang mampu mempertahankan posisi setimbang saat mengikuti garis dengan menaikkan/ menurunkan kecepatan motor DC brushless pendorong.

Diperlukan penyempurnaan mekanik dan penggantian sensor navigasi *line follower* dengan sensor yang memiliki ketelitian yang lebih tinggi.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dwi Y., H. 2010. Perencanaan Sistem Thruster dan Lifter Tipe Terpisah untuk Hovercraft Militer dengan Payload 15 Ton. *Proceedings Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan – Fakultas Teknologi Kelautan ITS*. Surabaya: Indonesia.
- [2] Ogata, K. 1997. Teknik Kontrol Automatik. Jakarta: Erlangga.
- [3] Fajar P., E. 2011. Rancang Bangun Pengendali Jarak Jauh Arah dan Laju Kendaraan Hover dengan 2 Tenaga Dorong. *Proceedings Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektronika – Politeknik Elektronika Negeri Surabaya*. Surabaya: Indonesia.
- [4] VISHAY. 2011. *Reflective Optical Sensor with Transistor Output*. www.vishay.com.
- [5] Rosdianto, R. 2012. Pengendalian Keseimbangan Per-Axis pada Quadcopter Menggunakan Kontroler Proporsional Integral Derivatif (PID) Berbasis Mikrokontroler ATmega 168-20AU. *Proceedings Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro – Fakultas Teknik UB*. Malang: Indonesia.
- [6] Atmel Corporation. 2010. *ATMEGA 8535 series*.